



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Kar
Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

Pattantyús-Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskola
Épületgépészet és eljárás technika részprogram

ADOTT FELÜLETRE ÉRKEZŐ GLOBÁLSUGÁRZÁS SZÁMÍTÁSA, RENDSZERSZINTŰ HASZNOSÍTÁSA ÉPÜLETEKBEN

című PhD értekezés téziszűzete

Írta:

Horváth Miklós

okleveles épületgépészeti és eljárás technikai gépészmérnök

Témavezető:

Dr. Csoknyai Tamás

egyetemi docens

Budapest
2016

1. A KUTATÁSI TÉMA AKTUALITÁSA

A megújuló energiaforrások egyre nagyobb teret nyernek a fosszilis energiahordozókkal szemben, és ez a trend az elkövetkező években, évtizedekben több előrejelzés szerint is folytatódni fog [1,2]. 2050-ig a beépített megújuló energiaforrás alapú villamosenergia kapacitás prognózist az Európai Unióra az 1. táblázat mutatja:

1. táblázat, Megújuló energiaforráson alapuló beépített villamosenergia kapacitás az Európai Unióban [1]

	2007	2020	2030	2050
	Beépített kapacitás [GW]			
Szél	56	180	288,5	462
Víz	102	120	148	194
Napelem	4,9	150	397	962
Biomassza	20,5	50	58	100
Földhő	1,4	4	21,7	77
Koncentrált naperőmű	0,011	15	43,4	96
Óceán	–	2,5	8,6	65
Összesen	185	522	965	1956

Látható, hogy a beépített megújuló energiaforrás alapú villamos kapacitás várhatóan a többszörösére fog növekedni. Napelemek tekintetében a technológia fejlődésével és a bekerülési költség csökkenésével a beépített napelemek mennyisége ugrásszerűen nőtt az elmúlt évtizedben. Évente átlagosan a beépített kapacitás 50%-al növekedett, így az összes termelt villamosenergia elérte a 100 TWh értéket 2012-ben [3]. A napelemes beépített kapacitás 2014-re világszinten elérte a 177 GW-ot, melyből csak abban az évben 40 GW kapacitást telepítettek [4].

Napkollektoroknál is hasonló trend figyelhető meg, mint napelemeknél. 2014-ben 406 GW beépített hőtermelő kapacitás volt világszerte [4]. Kiszolgált rendszereket tekintve a telepített kollektorok 80%-a családi házak, 9%-a társasházak használati melegvíz (HMV) igényét elégíti ki, míg 6%-át használják medencefűtésre, így 5% marad egyéb rendszerekre [5]. Hazánkban a kiépített jellemző rendszertípusokat, rendszerméreteket a 2. táblázat foglalja össze.

A nemzetközi trend Magyarország esetében is érzékelhető. A Nemzeti Energiastratégia 2030 dokumentumban [6] elméleti maximum értékeket határoztak meg a hazai megújulóenergia-potenciálra (3. táblázat). Látható, hogy a napenergiából elméletileg maximálisan nyerhető megújuló energia jelentősen meghaladja az ország 1085 PJ/év (2010. évi adat) energiaigényét [6].

2. táblázat, A Magyarországon beépített napkollektoros rendszerek adatai (2013) [5]

	Teljes kollektorfelület [m ²]	Jellemző rendszerfelület [m ²]	Rendszerek száma országosan [-]	Fajlagos energiatermelés [kWh/(m ² év)]
Medencefűtés	30252	200	151	344
Családi ház HMV	151260	6	25210	473
Társasház HMV	18908	50	378	522
Kombi rendszerek	51681	15	3445	422
Összesen	252101	–	29184	–

3. táblázat, Magyarország megújuló energia potenciálja [6]

Megújuló energiaforrás	Potenciál [PJ/év]
Napenergia	1838
Vízenergia	14,4
Geotermia	63,5
Biomassza	203 – 328
Szélenergia	532,8
Összesen	2600 – 2700

Ugyanakkor a stratégia a következőket is kimondja: „Az elméleti maximum értékekből látszik, hogy hazánkban potenciálisan a napenergiából nyerhető a legtöbb megújuló energia. A megújuló potenciál felméréshez hasonlóan – épületenergetikai megfontolásból – érdemes egy „tetőpotenciál” felmérő programot indítani a napenergiából nyerhető megújuló energia termelésre alkalmas potenciális háztető felületek nemzeti szintű összesítésére. Ennek segítségével a jövőben legalább részlegesen megvalósítható a városokban is az egyéni hő-, illetve villamosenergia-ellátás. Mindemellett jelenleg a napenergia hasznosítás terén van a legnagyobb szakadék a lehetőségek és a ténylegesen realizálható energiatermelés között. Ennek oka a fototermális és fotoelektromos berendezéseken alapuló energiatermelés nagyon magas költsége és a változó rendelkezésre állás miatti kiszabályozási problémák.” [6]

Kutatómunkám egyik fő célkitűzését, a hazai „tetőpotenciál” tudományos igényű vizsgálatát a téma aktualitása motiválta. Munkám során azonban komoly nehézségekkel kellett szembesülnöm mind a napenergia-hozam, mind az beérkező napenergia fotovillamos és termikus rendszerekben történő hasznosításának számítása területén, különösen a hazai alkalmazást illetően. Léteznek ugyan számítási modellek, de a gyakorlatban nagy nehézségeket jelent a megfelelő részletességű meteorológiai adatokhoz való hozzáférés, illetve ezek a modellek rendkívül összetettek a mindennapi mérnöki munkában való alkalmazáshoz. Ezért disszertációm első részében egy Kárpát-

medence területén általánosan alkalmazható egyszerűsített számítási modell létrehozásával foglalkoztam.

Az energiagyűjtő felületekre érkező energia tényleges hasznosítása során figyelembe kell venni az épület és az épületgépészeti rendszer tulajdonságait és a fogyasztási szokásokat is. Tekintve hogy végső célom az országos szintű potenciálemzés volt, meg kellett vizsgálnom a hazai épületállomány azon sajátosságait, melyek meghatározóan befolyásolják az épületgépészeti rendszerveszteségeket. A napkollektoros rendszerek esetén elkerülhetetlen volt továbbá az igény oldal, azaz a hazai fogyasztói szokások alaposabb vizsgálata is.

Munkám során törekedtem olyan komplex megközelítésre, mely figyelembe veszi a hazai alkalmazási igényeket, a meteorológiai (pontosabban Kárpát-medencei) sajátosságokat, valamint a hazai felhasználói szokásokat és a magyar épületállomány jellemzőit.

2. A KUTATÁSI TÉMA ISMERTETÉSE, CÉLKITŰZÉSEK

Disszertációmban elsődlegesen lakóépületekkel foglalkoztam, kutatásom négy, egymásra épülő területre osztható. Az első a napsugárzás számításával, a beérkező napenergia meghatározásával foglalkozik. A második terület az aktív napenergia-gyűjtő szerkezetekkel hasznosítható energia meghatározása, figyelembe véve a rendelkezésre álló napenergia mennyiségét és a napenergia-hasznosító berendezés (napkollektor, napelem) paramétereit. A harmadik terület a kapott eredmények épületszintű hasznosításának vizsgálata, az egyes berendezésekkel kinyerhető hő- illetve villamosenergia meghatározása különböző épülettípusokra (családi ház, panelépület stb.). A negyedik pedig a lakóépület típusokra kapott típuseredmények alapján országos kivetítés készítése a napelemekkel, napkollektorokkal kinyerhető villamos illetve hőenergia potenciál meghatározása, továbbá a kapcsolódó primerenergia kiváltás és CO₂ megtakarítás számszerűsítése.

A kutatómunka során az aktív napenergia hasznosítás lehetőségeit vizsgálom, a másik igen fontos területtel, a passzív hasznosítással nem foglalkoztam. Természetesen az energiahozammal kapcsolatos eredmények passzív rendszerek modellezéséhez is felhasználhatók.

2.1.1 Napsugárzás számítás

Egy adott földrajzi helyre érkező napenergia mennyisége alapvetően a helyszín elhelyezkedésétől, meteorológiai adottságaitól és a légszennyezettség mértékétől függ. A meteorológiai adottságok egyik lehetséges mérőszáma a napfénytartam, melynek

mérése egyszerű, és nem igényel költséges berendezést. Számos globálsugárzás számító modell alapul vízszintes felületre érkező globálsugárzás, illetve napfénytartam bemenő adatokon. A kutatásom főbb céljai az alábbiak:

- meghatározni egy átlag sugárzási évet a Kárpát-medence területére;
- hazai mérési adatok alapján sugárzásszámító modellt választani, mely országosan alkalmazható;
- egyszerűsített napenergia-hozam számító összefüggés kidolgozása a hely, tájolás és dőlésszög függvényében a Kárpát-medence területére.

2.1.2 Aktív napenergia-gyűjtő szerkezetekkel kinyerhető energia

Az épületekben használt aktív napenergia-hasznosító berendezések a napelem és a napkollektor. Fontos tervezési feladat az adott helyszínre jellemző beépítési paraméterek mellett elérhető energiahozam meghatározása. A termelt energia elsősorban a beérkező napenergia mennyiségétől függ, azonban a napkollektorok energiatermelését a felhasználói igények is jelentősen befolyásolják. Kutatásom során a csupán HMV igényeket ellátó rendszereket vizsgáltam. Napkollektoros rendszerekkel kapcsolatosan célom volt a következő mennyiségek becslése:

- a hazai HMV igények (hő- és vízfogyasztás) meghatározása;
- a HMV rendszer elosztási és tárolási veszteségeinek becslése hőtani modellezés alapján;
- napkollektor energiamérlegének, és a kinyerhető energia mennyiség meghatározása.

A napelemes rendszerek számítása egyszerűbb, mint a napkollektoros rendszereké, mivel nem kell figyelembe venni a fogyasztói szokásokat, illetve a rendszerveszteségek is elhanyagolható mértékűek, ezért ebben az esetben a napsugárzás és a napelem adatai alapján egyszerűen számítható a kinyerhető villamos energia mennyisége. Fontos azonban megjegyezni, hogy az energiatermelés nagyon érzékeny a modulok árnyékoltságára, amely adódhat önárnyékból, illetve egyéb objektumokból. Kutatásom során árnyékolási problémákkal is foglalkoztam, melynek során célom volt egy olyan módszer kidolgozása, amellyel lehetőség van mért adatok alapján árnyékoló objektumok helyzetének meghatározására.

2.1.3 Napkollektorok által elérhető energiahozamok reális tartománya panelépületeknél

Más épülettípusok mellett kiemelten foglalkoztam panelépületekkel, mert ez az az épülettípus, amelyik uniformizált jellege miatt legkönnyebben tipizálható, valamint

ezekről az épületekről áll rendelkezésre a legtöbb fogyasztói és műszaki adat, ami pontosabb modellalkotást tesz lehetővé.

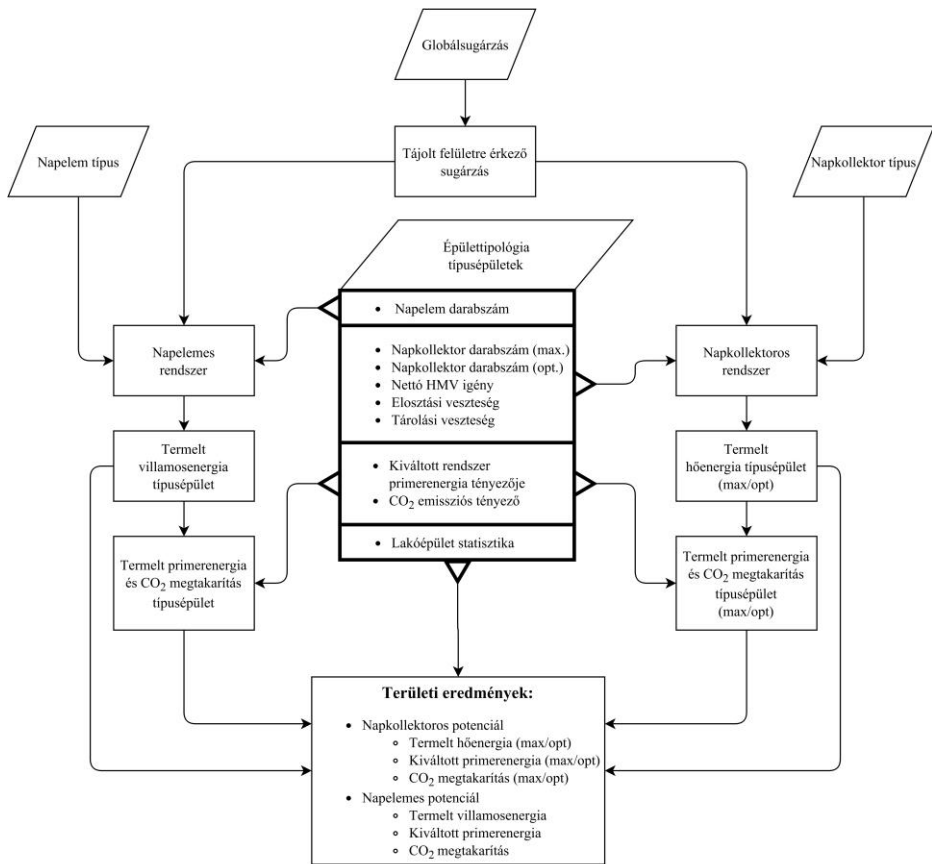
Meghatároztam 15 panelépület típus várható havi HMV hőigényét, és becsültem a rendszerek hőveszteségét. A vizsgálat magába foglalta a rendszer elosztási, cirkulációs és tárolási veszteségeit. A veszteségek figyelembe vételével fajlagos értékeket dolgoztam ki az egyes kategóriákba sorolt épületek HMV fogyasztásának és hőfelhasználásának a jelenleg szabványos energetikai számításokban alkalmazottnál pontosabb és megbízhatóbb becslésére. A panelépületek esetén célom volt az alábbi mennyiségek meghatározása:

- a napkollektorokkal megtermelhető hőenergia mennyisége – panelépület típusonként;
- az elérhető éves szoláris részarány és rendszerhatásfok célértéke.

2.1.4 Városenergetikai adaptáció, országos szintű elemzés

Az előzőekben ismertetett részcélok eredményeinek felhasználásával modellt dolgoztam ki városi- és országos szintű vizsgálatokhoz. A kutatás során először célom volt egy városszintű becslés készítése napkollektorokkal, illetve napelemekkel termelt hő-, illetve villamosenergia mennyiségének meghatározására. Napkollektoros rendszereknél figyelembe véve a fogyasztási igényeket is külön célom volt meghatározni a maximális napkollektor felületen, illetve a műszaki-gazdasági optimumhoz tartozó napkollektor felületen a termelhető hőenergia mennyiségét is. A vizsgálatához felhasználtam a városra rendelkezésre álló épülettípológiát és energia gyűjtő modul kiosztást. A városi szintű számítások tapasztalatinak felhasználásával az országos tipológiára is célom volt meghatározni a napkollektoros, illetve napelemes potenciált, kiegészítve a primerenergia kiváltási-, valamint a CO₂ megtakarítási potenciállal.

A disszertáció vázát az 1. ábrán foglaltam össze, melyen az egyes részcélokat, illetve összefüggéseket ábrázoltam. Az ábrán látható, hogy a főbb bemenő paraméterek a beérkező globálisugárzás mennyisége, a napkollektorok, napelemek adatai, illetve az épülettípológiák bemenő paraméterei. Az épülettípusoknál meghatározandók a potenciálisan elhelyezhető napelem, illetve napkollektor darabszámok, valamint az épület teljes HMV hőfelhasználása. A bemenő paraméterek és meghatározott épületszintű adatok alapján típusépületekre számíthatók az eredmények, melyet nagyobb területre ki lehet vetíteni a lakóépület statisztika adatainak megfelelően.



1. ábra, A napkollektoros és napelemes potenciál meghatározásának folyamatábrája

3. SZAKIRODALMI ÖSSZEFOGLALÁS

Disszertációm fő célkitűzése a hazai lakóépület állományra vonatkozóan meghatározni a napkollektorokkal, illetve napelemekkel országos szinten termelhető energia mennyiségét. Ehhez hasonló tanulmányt készítettek már Magyarországra [7–10], azonban összességében megállapítható, hogy az számos egyszerűsítésen és feltételezésen alapult, azaz van létjogosultsága mélyebb elemzéseken alapuló hasonló célú részletes vizsgálatnak. A napelemek és napkollektorok energiatermelésének számítása során figyelembe kell venni a beérkező sugárzás mennyisége mellett az energiagyűjtő szerkezetek paramétereit, illetve a fogyasztói oldalt is. Napelemek esetén a termelt villamosenergia betáplálható a villamos hálózatba, így ezzel a résszel külön

nem foglalkoztam. Napkollektoroknál azonban nagyon fontos a fogyasztói oldal modellezése. A fontosabb szakirodalmi megállapításokat az alábbiakban foglalom össze.

Tetszőleges tájolású és dőlésszögű felületre érkező napsugárzás számításához számos modell áll rendelkezésre, melyek alapvetően háromféle bemenő paraméter – napfénytartam, globálsugárzás és felhőzet – alapján becsülik a felületre érkező sugárzást. Disszertációmban a CarpatClim adatbázisban [11] ingyenesen hozzáférhető napfénytartam adatokat használom fel, mint bemenő paramétert, melyet globálsugárzásra az Angström–Prescott-módszer [12] felhasználásával számítom át, melyhez felhasználom az Európa területére meghatározott együtthatókat ($a=0,22$; $b=0,53$) [13]. Disszertációmban a globálsugárzás direkt- és diffúz sugárzásra történő felbontásával számos publikáció foglalkozik, melyeket részletesen egy 2016-os publikációban foglalt össze Khorasanizadeh és Mohammadi [14]. Az egyik elterjedt csoportban lineáris közelítést alkalmaztak több publikációban is [15–17], disszertációmban is ezt a vonalat követem. A sugárzáskomponensek ismeretében a vízszintes felületre érkező globálsugárzás már átszámítható tetszőleges felületre. Az átszámítás több modell alapján lehetséges, disszertációmban összesen 6 modellt vizsgálok és hasonlítok össze [18–23].

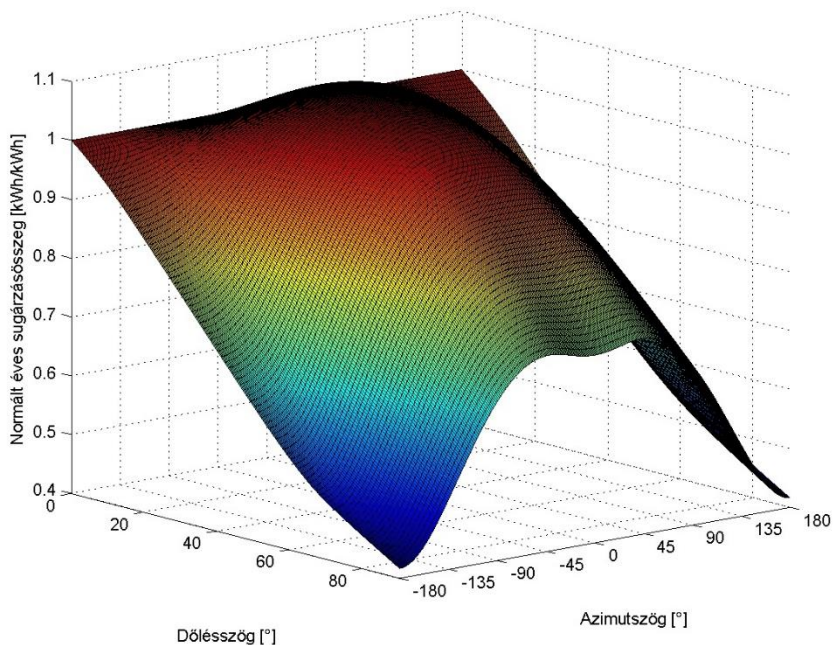
Az épületállomány modellezésénél az úgynevezett bottom-up módszert alkalmazom, melyet számos külföldi publikációban használnak energiahatékonyság-növelési opciók elemzésére és összehasonlítására [24–29]. Napenergiahasznosítási célú vizsgálatok is készültek bottom-up módszerekkel [30–35]. A módszer hazánkban is alkalmazható, mivel rendelkezésre áll több, már kidolgozott, kellő részletességű tipológia is. Ezen tipológiák közül van országos épületállományra vonatkozó, amely az elmúlt években került kidolgozásra [36–40]. Ennél kisebb területre, Debrecen lakóépület állományára készített tipológiát Kassai-Szoó [41,42]. További speciálisnak tekinthető tipológiát készített Hrabovszky-Horváth is a hazai panelépület állományról [43]. Disszertációmban ezen tipológiákkal foglalkozom részletesen.

Napkollektoros rendszerek modellezésénél fontos a kiszolgált rendszer hőigényének meghatározása, mivel a napkollektorok által termelt hőenergiát el kell használni. A fogyasztás meghatározására számos különböző forrást lehet találni. Egyik lehetőség a fűtött alapterület szerinti meghatározás [44,45], egy másik lehetőség a csapolók száma alapján történő meghatározás [46–48]. Dolgozatomban azonban egy harmadik, a fejadagon alapuló megközelítést alkalmazok [49–57].

4. TÉZISEK

4.1 Egyszerűsített éves sugárzásösszeg számító összefüggés

Az egyszerűsített napenergia-potenciál számító összefüggés meghatározása során a rendelkezésemre álló CarpatClim adatbázis alapján a nagyobb kárpát-medencei régióra végeztem vizsgálatot. Az adatbázis 1981 – 2010 közötti napi napfénytartam adatait használtam fel 5895 területegységre (hozzávetőlegesen 10 x 10 km-es adatbázis). Az adatokból képeztem napi átlagos globálisugárzás értékeket a teljes területre. A kapott átlagos évre számítottam a Liu–Jordan sugárzásszámító modell alapján fokenként minden dőlés- és azimut szögparra a beérkező éves sugárzás mennyiségét. A kapott pontokra egy felület illeszthető (2. ábra), melynek leíró egyenletét statisztikai módszerekkel meghatároztam.



2. ábra, A normált éves sugárzásösszeg dőlésszög és azimutszög függése a Kárpát-medencében

1. tézis

A Kárpát-medence egy adott pontján az egységnyi felületre érkező éves szoláris energiahozam a tájolás és dőlésszög függvényében a következő másodfokú polinommal közelíthető:

$$G_{\text{éves},t} = \{[\alpha_a \cdot \cos(\gamma_M) + \beta_a] \cdot \alpha_M^2 + [\alpha_b \cdot \cos(\gamma_M) + \beta_b + \gamma_b \cdot \cos(2 \cdot \gamma_M)] \cdot \alpha_M + 1\} \cdot G_{\text{éves}},$$

ahol $G_{\text{éves},t}$ (kWh/(m²év)) a tájolt síkra érkező sugárzás éves mennyisége, α_M (°) a felület dőlésszöge, γ_M (°) a felület azimutszöge, a déli tájoláshoz viszonyítva, α_a , α_b , β_a , β_b , γ_b empirikus konstansok és $G_{\text{éves}}$ (kWh/(m²év)) a vízszintes síkra érkező globálsugárzás éves mennyisége, amely például a CarpatClim adatbázisból kivethető. A Kárpát-medence területére alkalmazható konstansok értéke a következő:

Konstans	Érték
α_a	$-5,37 \cdot 10^{-05}$
β_a	$-3,98 \cdot 10^{-05}$
α_b	$6,55 \cdot 10^{-03}$
β_b	$-6,97 \cdot 10^{-04}$
γ_b	$-7,15 \cdot 10^{-04}$

Kapcsolódó publikációk: [S1–S4]

4.2 Napelemek árnyékmaszkjának szerkesztése mérési adatok alapján

A napenergia-gyűjtő szerkezetek hibás elhelyezéséből adódó önárnyék az energiatermelést drasztikusan csökkentheti. Ezen hibák azonosítására az energiatermelés adatait felhasználó hibadiagnosztikai eljárást dolgoztam ki. A módszer hasznos lehet meglévő rendszerek távfelügyeleténél, hiszen a növényzet és az épített környezet folyamatosan változik.

2. tézis

Polikristályos napelemek, illetve napelem sorok árnyékmaszkjá szerkeszthető a napelem vagy napelem sorok teljesítmény adatai és az azzal egy időben mért globálsugárzás alapján az alábbi lépéseket követve:

- 1) Egyidejű napelem teljesítmény és vízszintesen mért globálsugárzási adatok rögzítése legalább órás felbontásban, pontosabb eredmény érdekében javasolt a diffúz, vagy a direkt sugárzás mérése is, ebben az esetben a 2. pont kihagyható.

- 2) A vízszintesen mért globálsugárzásból a diffúz sugárzási részarány Budapesten, illetve pontosabb adatok hiányában Magyarországon az alábbi képlet szerint számítható:

$$\frac{D}{G} = \left\{ \begin{array}{ll} 0,85 & \text{ha } \frac{G}{G_0} \leq 0,27 \\ 1,25 - 1,488 \cdot \frac{G}{G_0} & \text{ha } 0,27 < \frac{G}{G_0} < 0,71 \\ 0,195 & \text{ha } 0,71 \leq \frac{G}{G_0} \end{array} \right\}$$

ahol D (W/m^2) a vízszintes felületre érkező diffúz sugárzás, G (W/m^2) a vízszintes felületre érkező globálsugárzás és G_0 (W/m^2) a csillagászatilag lehetséges sugárzás.

- 3) A mért, illetve számított vízszintes felületre érkező globál- és diffúz sugárzás esetén a tájolással és dőlésszöggel rendelkező felületre érkező direkt sugárzás számítható a következő összefüggéssel:

$$I_t = (G - D) \cdot \frac{\cos \theta}{\sin \alpha_s}$$

ahol I_t (W/m^2) a direkt sugárzás a tájolással, dőlésszöggel rendelkező felületen, D (W/m^2) a vízszintes felületre érkező diffúz sugárzás, G (W/m^2) a vízszintes felületre érkező globálsugárzás, θ ($^\circ$) a felület normálvektora és a felületből a Nap irányába mutató vektorok által közrezárt szög és α_s ($^\circ$) a napmagasság.

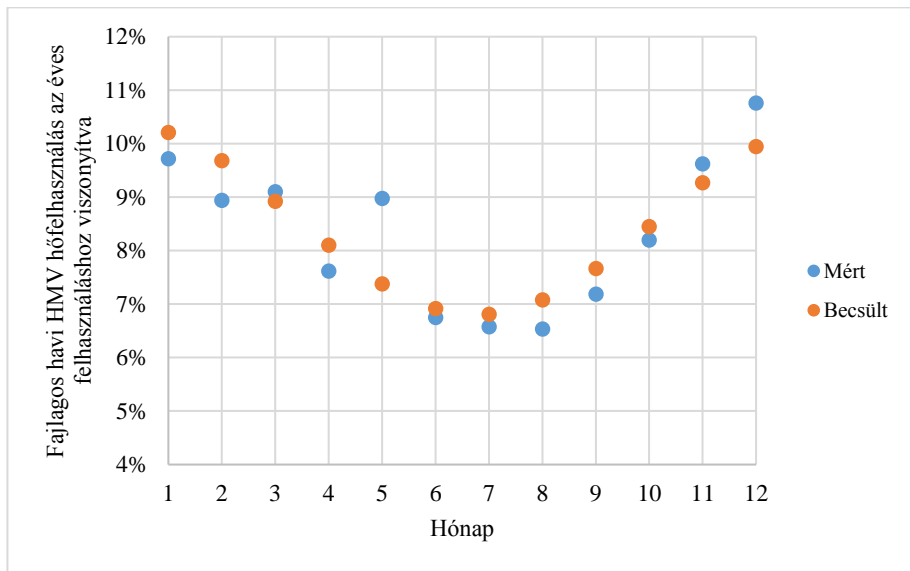
- 4) A napelem teljesítmény adatok ábrázolása a számított direkt sugárzás függvényében.
- 5) A diagramról azon pontok kiválasztása, melyekre az alábbi két feltétel teljesül:
- a napelem maximális teljesítményének 20%-ánál kisebb az értéke,
 - a direkt sugárzás értéke nagyobb, mint $100 \text{ W}/\text{m}^2$
- 6) A kiválasztott pontokra az időpontjukhoz tartozó napmagasság és azimutszögek meghatározása, nappálya diagramban való ábrázolása.
- 7) A kapott árnyékmásk diagramon a pontfelhők burkológörbéi megadják az árnyékoló objektumok kontúrjait.

Kapcsolódó publikációk: [S5,S6]

4.3 Panelépületek havi HMV hőfelhasználásának meghatározása az éves hőfelhasználás alapján

Napkollektoros rendszerek tervezésénél a termelhető hőenergia mennyiségét alapvetően a rendelkezésre álló, napenergia hasznosítás szempontjából alkalmas tetőfelület, a tervezett kollektorokra beérkező napenergia mennyisége és a kiszolgált rendszer hőenergia-igénye befolyásolja. Napkollektoros rendszerek méretezésénél javasolt havi adatokat felhasználni a méretezésnél, mivel ez jóval pontosabb becslést ad a későbbiekben ténylegesen termelhető energia mennyiségére, mint az éves módszer. Éves módszer használata esetén előfordulhat, hogy az épületek nyári HMV hőigényénél nagyobb a napkollektorok energiatermelése, amely a számításban nem jelenik meg. A hibás méretezés a napkollektoros rendszer károsodásához is vezethet, mivel a csövekben áramló közeg megkocsonyosodik és használhatatlanná teszi a rendszert. Ezenkívül az ilyen rendszerek gazdaságos üzemeltetése sem megvalósítható.

Vizsgálataim során 117 debreceni távfűtött panelépület 8 éves havi HMV hőfelhasználás adatait dolgoztam fel. Meghatároztam a jellemző havi hőfelhasználás értékeket, melyek az éves lefutást tekintve cosinus függvénnyel közelíthetők, az éves periodicitás miatt (3. ábra) Ez az eredmény pontosabb, mint az eddigi hazai méretezések során felhasznált közelítések.



3. ábra, A havi mért és függvénnyel közelített HMV hőfelhasználás

3. tézis

Hazai panelépületek napkollektoros rendszereinek tervezésénél az épület éves HMV hőfelhasználása ismeretében a havi hőfelhasználások az éves periodicitást kihasználva az alábbi összefüggéssel számíthatók:

$$q_{HMV,i} = (0,18 \cdot \cos(0,463 \cdot i) + 0,086) \cdot q_{HMV,tot}$$

ahol $q_{HMV,tot}$ (kWh/(m²év)) az épület éves fajlagos HMV hőfelhasználása, $q_{HMV,i}$ (kWh/(m²hó)) az épület i -ik havi fajlagos HMV hőfelhasználása, i a hónap sorszáma

Kapcsolódó publikációk: [S7,S8]

4.4 Panelépületekben napkollektorokkal termelhető hőenergia mennyisége

A panelépületek tetején a napkollektorok, napelemek elhelyezésére korlátot szab a rendelkezésre álló tetőfelület, a felépítmények által, illetve a napkollektorok rögzítésével összefüggő egymásra vetett árnyékok. Ehhez a jellemzően 5 – 11 szintből adódó magas lakószám miatt jelentős HMV igény és rendszerveszteség társul. Ezek a tényezők együttesen azt eredményezik, hogy a műszakilag racionálisan elérhető szoláris részarány elmarad az alacsonyabb szintszámú épületekétől, különös tekintettel a családi házakra, ahol a szoláris részarányának nem a rendelkezésre álló elhelyezési felület szab határt.

A hazai panelos lakóépület állomány uniformizált jellegéből adódóan könnyen tipizálható, ami alapján városi vagy országos szintű napenergiahasznosítási potenciál számítások végezhetőek. Ennek érdekében épülettípológia alapú számításokat végeztem, egy már kidolgozott paneltípológia felhasználásával [43]. A vizsgálat során feldolgoztam 48 Magyarországon forgalmazott napkollektor típus műszaki jellemzőit, és ez alapján kiválasztottam egy átlagosnál jobb minőségű napkollektort, amellyel további számításaimat végeztem. Az általam 15 panelépület típusra meghatározott szoláris részarányra és rendszerhatásfokra vonatkozó számítási eredmények felhasználhatók épületállomány szintű bottom-up elemzésekhez, valamint felújítási koncepciók kidolgozásának alapjaként.

A hazai panelos technológiával létesített lakóépületek esetén a termikus napenergia hasznosítás reális tartományának műszaki korlátai vannak, melyek a geometriai sajátosságokból, az ezzel összefüggő fogyasztói igényekből és rendszerveszteségekből következnek.

4. tézis

Épülettípológia segítségével meghatároztam a hazai panelépület típusok tetőfelületén elhelyezhető napkollektor mezők által hasznosítható napenergia mennyiségét. A panelépületek 15 jellegzetes típusára teljes tetőkihasználtság esetén a reális HMV termelésre vonatkozó szoláris részaránynak felső határa van, ami a 20,4 – 58,6% tartományba esik 24,3 – 41,4% rendszerhatásfok mellett. Épület állomány szintű napenergia potenciál vizsgálatok esetén ezt a felső határt tekintetbe kell venni. Az egyes típusokra vonatkozó részletes eredményeket az alábbi táblázatban foglaltam össze:

Épülettípus	q_{koll} [kWh/(m ² év)]	f_i [-]	η_{rendszer} [%]
	minimum – maximum (átlag)		
4M	10,1 – 12,1 (11,4)	28,4 – 36,5 (34,3)	38,7 – 39,4 (38,8)
GYŐR 6/73	19,9 – 23,1 (22,0)	39,2 – 49,6 (46,7)	36,5 – 36,5 (36,0)
H-0	18,8 – 21,5 (20,5)	47,4 – 58,6 (55,4)	34,6 – 34,2 (33,9)
TB 51	21,0 – 22,2 (21,7)	47,7 – 54,5 (52,9)	26,1 – 24,3 (24,2)
1301	8,4 – 10,1 (9,5)	20,4 – 26,8 (25,1)	40,2 – 41,4 (40,6)
3FOG	20,3 – 23,5 (22,3)	41,4 – 52,2 (49,2)	36,0 – 35,9 (35,4)
3FOG - hóhidás	20,3 – 23,5 (22,3)	41,4 – 52,2 (49,2)	36,0 – 35,9 (35,4)
6FOG	11,5 – 13,7 (13,0)	24,4 – 31,8 (29,9)	32,1 – 32,5 (31,9)
A10	15,1 – 17,8 (16,9)	31,6 – 40,5 (38,2)	34,3 – 34,4 (33,8)
KB-512	12,7 – 15,1 (14,3)	27,4 – 35,4 (33,3)	34,3 – 34,6 (34,0)
C3	10,2 – 12,2 (11,6)	23,8 – 31,0 (29,2)	32,2 – 32,7 (32,1)
KF10	12,2 – 14,5 (13,8)	25,3 – 32,8 (30,9)	32,2 – 32,6 (32,0)
K-I	16,3 – 19,1 (18,1)	34,2 – 43,7 (41,1)	34,6 – 34,8 (34,0)
KY	9,9 – 11,8 (11,3)	23,2 – 30,1 (28,4)	30,0 – 29,3 (29,1)
P100	13,1 – 15,7 (14,8)	24,1 – 31,6 (29,6)	37,1 – 37,9 (37,0)

Ahol q_{koll} (kWh/(m²év)) a napkollektorokon termelt éves hőenergia a fűtött alapterületre vonatkoztatva, f_i (-) a szoláris részarány, η_{rendszer} (%) a napkollektoros rendszer éves hatásfoka.

Kapcsolódó publikációk: [S7,S8]

4.5 Országos aktív napenergiahasznosítási potenciál

Települési vagy országos szintű napenergiahasznosítási potenciál számítási eljárásokhoz alkalmazhatók az ún. bottom-up módszerek, melyek épülettipológián alapulnak. Ez azt jelenti, hogy a vizsgált épületállományt típusokba soroljuk és típusonként egy-egy modellépületre végzünk elemzést. A kapott eredmények statisztikai adatok felhasználásával kivetíthetők a teljes vizsgált állományra. Kutatásaim során ilyen eljárással meghatároztam a teljes hazai lakóépület állomány tetőfelületén elhelyezhető napkollektor és napelem mezők által hasznosítható napenergia mennyiségét. Ennek során a következő lépéseket alkalmaztam:

1. Tipológia kiválasztása.
 - a. Kiinduló lépésként olyan tipológiát kellett kiválasztani, ami alkalmas az országos lakóépület állomány napenergia potenciál számításához szükséges modellezésére, valamint ismertek az egyes típusok statisztikai adatai [39,40].
2. A potenciális tetőfelületek és egyéb geometriai, műszaki adatok meghatározása típusonként. Ehhez többféle módszer alkalmazási lehetőségeit megvizsgáltam:
 - a. típusonként választott egy-egy mintaépület épülettervek és helyszíni szemle alapján történő elemzése;
 - b. geoinformatikai felmérés (bepülés drón, vagy LiDAR segítségével);
 - c. adott típusba tartozó nagyszámú épület szakértői felmérési adatainak elemzése.
3. Az épületek fontosabb paramétereinek meghatározása után a napenergia-potenciál számítás már elvégezhető. Az országos eredmények meghatározása előtt előzetes számításokat végeztem Debrecenre, melynek célja a városi szintű potenciálemelés volt. A munka során egy, már korábban elkészített lakóépület tipológiát használtam fel [41,42]. A vizsgálat tapasztalatait az országos kivetítés során felhasználtam.
4. Feldolgoztam az országos lakóépület tipológia [36–40] 23 épülettípusára vonatkozó adatokat. Meghatároztam a típusok átlagos geometriai jellemzőit, tipikus műszaki és fogyasztói adatait. Ezek alapján típusonként meghatároztam az elhelyezhető energiagyűjtő felületeket két variációban: a racionálisan elhelyezhető maximális, és a gazdaságossági szempontokat is figyelembe vevő optimális változat szerint. Meghatároztam ezután a termelhető energiát, a szoláris részarányt, valamint a rendszerhatásfokokat.
5. Meghatároztam a kiváltott primerenergia mennyiségét, illetve a CO₂ kibocsátás csökkenést figyelembe véve a jellemző kiváltott rendszerek tulajdonságait.
6. A statisztikai adatok felhasználásával elvégeztem az országos kivetítéseket.

5. tézis

Épülettípológia alapú bottom-up módszer segítségével meghatároztam a teljes hazai lakóépület állomány tetőfelületén elhelyezhető napkollektor mezők esetén a maximálisan és műszaki optimumban termelhető hő-, valamint napelem mezők esetén maximálisan termelhető villamosenergia mennyiségét figyelembe véve a hazai meteorológiai szélsőségeket. Ezen végenergiákhoz köthetően meghatároztam továbbá a kiváltható primerenergia mennyiségét és a CO₂ megtakarítási potenciált is. A kapott eredményeket az alábbi táblázatban foglalom össze:

	Napelem	Napkollektor (MAX)	Napkollektor (OPT)
Energiatermelés [PJ/év] min – max (átlag)	36,73 – 49,81 (46,90)	42,29 – 42,88 (42,14)	22,75 – 26,21 (25,04)
Primerenergia kiváltás [PJ/év] min – max	80,8 – 109,6	62,3 – 81,4	32,2 – 47,9
CO ₂ megtakarítás [kt/év] min – max	3724 – 5050	3551 – 3593	1858 – 2146
Összfelület [km ²]	95,60	81,62	15,92

Kapcsolódó publikációk: [S7–S11]

5. AZ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK HASZNOSÍTHATÓSÁGA

Létrehoztam egy egyszerűsített számítási módszert, mely segítségével a gyakorló mérnökök a CarpatClim ingyenes adatbázis adatainak felhasználásával az eddigi módszereknél lényegesen könnyebben és gyorsabban, költséges adatvásárlás nélkül tudják tetszőleges dőlésszögű és tájolású felületre meghatározni az érkező hasznosítható éves sugárzási energiát. Ez mind a napelemek, mind a napkollektorok tervezését megkönnyíti, különösen a koncepcionális fázisban. Energiatanúsítás, auditálás esetén az összefüggés szintén alkalmazható.

A második tézisben ismertetett árnyékmaszk szerkesztési módszer alkalmazható meglévő napelemes rendszerek távolból történő felügyeletére, hiszen a növényzet és az épített környezet folyamatosan változik.

Foglalkoztam panelépületekben a használati melegvíz felhasználási szokásokkal is, melyek az elmúlt évtizedekben jelentősen megváltoztak, ennek ellenére a tervezői gyakorlatban ma is régi elavult értékeket használnak. Az eredményeim segíthetik a

tervezői munkát, naprakész adatokat szolgáltatva a nettó melegvíz és melegvíz hőigények számításához.

Kimutattam továbbá, hogy a hatályos épületenergetikai rendelet [45] vonatkozó számai bizonyos esetekben pontosításra szorulnak. Eredményeim egy része hasznosítható lenne a rendelet számítási eljárásainak fejlesztésénél, kiegészítésénél. Néhány ilyen elemet említve:

- használati melegvíz nettó hőigények lakóépületekben;
- napkollektorok energiahozamának egyszerűsített számítása épületekben;
- napelemekkel termelhető villamosenergia egyszerűsített számítása épületekben.

Meghatároztam, hogy napelemekkel, napkollektorokkal országos szinten napenergiából mekkora a kinyerhető hő- illetve villamosenergia potenciál, primerenergia kiváltás és CO₂ megtakarítás. Ezek az eredmények elsősorban nem épületgépész és energetikai mérnökök számára fontos (bár nekik is hasznos lehet), hanem olyan társszakmák szakembereinek, kutatóinak (pl. környezetvédelmi, környezetgazdasági makrogazdasági szakemberek, szakpolitikai döntéshozók), akik az épületfelújítások hatáselemzésével, fejlesztési stratégiák és akciótervek, pályázati rendszerek kidolgozásával foglalkoznak. Az eredmények alapján a TNM rendeletben szereplő közel nulla energiafelhasználású épület követelmény is pontosítható lenne.

További kutatási területek lehetnek a disszertációhoz kapcsolódóan a kombinált napelemes és napkollektoros rendszertelepítések, valamint a HMV igények mélyreható vizsgálata több épületre, illetve épülettípusra kiterjesztve a vizsgálatot. További lehetőség a potenciálvizsgálat elvégzése középületekre is. Napelemeknél lehetőség van továbbá az energiatermelés részletesebb modellezésére is.

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

[S1] Horváth Miklós, Csoknyai Tamás: *Evaluation of Solar Energy Calculation Methods for 45° Inclined, South Facing Surface*, Energy Procedia. 78 (2015) 465–470. doi:10.1016/j.egypro.2015.11.700.

[S2] Csoknyai Tamás, Horváth Miklós: *Globális sugárzás és napfénytartam mérési eredmények korreláció - analízise*, III. Környezettudatos Energiatermelés Szél- és Napenergia Konferencia, Debrecen, 2014: o. 106–113.

[S3] Horváth Miklós, Csoknyai Tamás, Szánthó Zoltán: *A meteorológiai mérések szerepe az épületgépészetben*, Légekör. 60 (2015) 157–160.

- [S4] Horváth Miklós, Csoknyai Tamás, Szánthó Zoltán: *Tetszőleges tájolású felületre érkező sugárzási nyereség számítása nappályamodell alapján*, Magyar Energetika. 21 (2014) 11–15.
- [S5] Horváth Miklós, Csoknyai Tamás: *Napelemek árnyékmáskjának szerkesztése termelési adatok és mért, illetve számított globálsugárzás alapján*, Magyar Épületgépészet. 65 (2016) 7–10.
- [S6] Horváth Miklós, Csoknyai Tamás: *Correlation analysis of tilted and horizontal photovoltaic panel's electricity generation and horizontal global radiation*, Időjárás. 120 (2016) 255–264.
- [S7] Horváth Miklós, Csoknyai Tamás, Szánthó Zoltán: *Panelépületek használati melegvíz hőfelhasználásának számítása*, Magyar Épületgépészet. 65 (2016) 8–11.
- [S8] Horváth Miklós, Hrabovszky-Horváth Sára, Csoknyai Tamás: *Parametric analysis of solar hot water production in “commi-block” buildings*, 5th International Youth Conference on Energy (IYCE) 2015, IEEE, Pisa, 2015: o. 1–5. doi:10.1109/IYCE.2015.7180769.
- [S9] Horváth Miklós, Csoknyai Tamás: *Maximal and Optimal DHW Production with Solar Collectors for Single Family Houses*, 7th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources and Efficiency Conference, Subotica, 2015: o. 59–64.
- [S10] Szabó Szilárd, Enyedi Péter, Horváth Miklós, és mtsai.: *Automated registration of potential locations for solar energy production with Light Detection And Ranging (LiDAR) and small format photogrammetry*, Journal of Cleaner Production. 112 (2015) 3820–3829. doi:10.1016/j.jclepro.2015.07.117.
- [S11] Horváth Miklós, Kassai-Szoó Dominika, Csoknyai Tamás: *Solar energy potential of roofs on urban level based on building typology*, Energy and Buildings. 111 (2016) 278–289. doi:10.1016/j.enbuild.2015.11.031.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] *RE-thinking 2050: a 100% renewable energy vision for the European Union*, European Renewable Energy Council, 2010.
- [2] Wuester H., Ferroukhi R., El-Katiri L., Saygin D., Rinke T., Nagpal D.: *Rethinking Energy (IRENA flagship report) - 2015 Edition*, International Renewable Energy Agency, 2015. doi:10.1002/9781119994381.

- [3] Priddle R., szerk.: *World Energy Outlook 2013*, International Energy Agency, Paris, 2013. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2013.pdf>.
- [4] *Renewables 2015-Global Status Report*, REN21, 2015. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0267364988900301>.
- [5] Mauthner F., Weiss W., Spörk-Dür M.: *Solar Heat Worldwide*, 2015. kiad., AEE INTEC, Gleisdorf, 2015.
- [6] *Nemzeti Energiestratégia 2030*, Budapest, 2012. [http://2010-2014.kormany.hu/download/4/f8/70000/Nemzeti Energiastratégia 2030 teljes változat.pdf](http://2010-2014.kormany.hu/download/4/f8/70000/Nemzeti_Energiastrategia_2030_teljes_valtozat.pdf).
- [7] Imre L., Bohoczky F., szerk.: *Magyarország megújuló energetikai potenciálja*, Budapest, 2006. [http://fft.szie.hu/mnt/MO megujulo energia potencialja 2006.pdf](http://fft.szie.hu/mnt/MO_megujulo_energia_potencialja_2006.pdf).
- [8] Kaboldy E.: *A napenergia aktív hőhasznosításának hazai potenciálja*, Energiagazdálkodás. 46 (2005) 19–23.
- [9] Pálfy M.: *Magyarország szoláris fotovillamos energetikai potenciálja*, Energiagazdálkodás. 45 (2004) 7–10.
- [10] Fülöp L., Szűcs M., Zöld A.: *A napenergia passzív hasznosításának hazai potenciálja*, Energiagazdálkodás. 46 (2005) 8–13.
- [11] *CarpatClim*, (2015). <http://www.carpatclim-eu.org/pages/home/> (elérés 2015. július 7.).
- [12] Prescott J.A.: *Evaporation from a water surface in relation to solar radiation*, Transactions of the Royal Society of South Australia. 64 (1940) 114–118. <http://biodiversitylibrary.org/page/41572745>.
- [13] Bojanowski J.S., Vrieling A., Skidmore A.K.: *Calibration of solar radiation models for Europe using Meteosat Second Generation and weather station data*, Agricultural and Forest Meteorology. 176 (2013) 1–9. doi:10.1016/j.agrformet.2013.03.005.
- [14] Khorasanizadeh H., Mohammadi K.: *Diffuse solar radiation on a horizontal surface: Reviewing and categorizing the empirical models*, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 53 (2016) 338–362. doi:10.1016/j.rser.2015.08.037.
- [15] Rao C.R.N., Bradley W.A., Lee T.Y.: *The diffuse component of the daily global solar irradiation at Corvallis, Oregon (U.S.A.)*, Solar Energy. 32 (1984) 637–641. doi:10.1016/0038-092X(84)90140-3.
- [16] Jacovides C.P., Hadjoannou L., Pashiardis S., Stefanou L.: *On the diffuse*

fraction of daily and monthly global radiation for the island of Cyprus, Solar Energy. 56 (1996) 565–572. doi:10.1016/0038-092X(96)81162-5.

- [17] Jin Z., Yezheng W., Gang Y.: *Estimation of daily diffuse solar radiation in China*, 2004. doi:10.1016/j.renene.2004.01.014.
- [18] Liu B.Y.H., Jordan R.C.: *The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation*, Solar Energy. 4 (1960) 1–19. doi:10.1016/0038-092X(60)90062-1.
- [19] Temps R.C., Coulson K.L.: *Solar radiation incident upon slopes of different orientations*, Solar Energy. 19 (1977) 179–184. doi:10.1016/0038-092X(77)90056-1.
- [20] Hay J.E., McKay D.C.: *Estimating Solar Irradiance on Inclined Surfaces: A Review and Assessment of Methodologies*, International Journal of Solar Energy. 3 (1985) 203–240. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01425918508914395#preview> (elérés 2015. július 8.).
- [21] Klucher T.M.: *Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces*, Solar Energy. 23 (1979) 111–114. doi:10.1016/0038-092X(79)90110-5.
- [22] Skartveit A., Asle Olseth J.: *Modelling slope irradiance at high latitudes*, Solar Energy. 36 (1986) 333–344. doi:10.1016/0038-092X(86)90151-9.
- [23] Reindl D.T., Beckman W.A., Duffie J.A.: *Evaluation of hourly tilted surface radiation models*, Solar Energy. 45 (1990) 9–17. doi:10.1016/0038-092X(90)90061-G.
- [24] Nemry F., Uihlein A., Colodel C.M., Wetzel C., Braune A., Wittstock B., Hasan I., KreiBig J., Gallon N., Niemeier S., Frech Y.: *Options to reduce the environmental impacts of residential buildings in the European Union—Potential and costs*, Energy and Buildings. 42 (2010) 976–984. doi:10.1016/j.enbuild.2010.01.009.
- [25] *Episcope*, (2015). <http://episcope.eu/> (elérés 2015. július 7.).
- [26] Dascalaki E.G., Droutsa K.G., Balaras C.A., Kontoyiannidis S.: *Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock*, Energy and Buildings. 43 (2011) 3400–3409. doi:10.1016/j.enbuild.2011.09.002.
- [27] Theodoridou I., Papadopoulos A.M., Hegger M.: *Statistical analysis of the Greek residential building stock*, Energy and Buildings. 43 (2011) 2422–2428. doi:10.1016/j.enbuild.2011.05.034.
- [28] Florio P., Teissier O.: *Estimation of the Energy Performance Certificate of a housing stock characterised via qualitative variables through a typology-based*

- approach model: A fuel poverty evaluation tool*, Energy and Buildings. 89 (2015) 39–48. doi:10.1016/j.enbuild.2014.12.024.
- [29] Kragh J., Wittchen K.B.: *Development of two Danish building typologies for residential buildings*, Energy and Buildings. 68 (2014) 79–86. doi:10.1016/j.enbuild.2013.04.028.
- [30] Košir M., Capeluto I.G., Krainer A., Kristl Ž.: *Solar potential in existing urban layouts-Critical overview of the existing building stock in Slovenian context*, Energy Policy. 69 (2014) 443–456. doi:10.1016/j.enpol.2014.01.045.
- [31] Martins T.A.L., Adolphe L., Bastos L.E.G.: *From solar constraints to urban design opportunities: Optimization of built form typologies in a Brazilian tropical city*, Energy and Buildings. 76 (2014) 43–56. doi:10.1016/j.enbuild.2014.02.056.
- [32] Gadsden S., Rylatt M., Lomas K., Robinson D.: *Predicting the urban solar fraction: a methodology for energy advisers and planners based on GIS*, Energy and Buildings. 35 (2003) 37–48. doi:10.1016/S0378-7788(02)00078-6.
- [33] Li D., Liu G., Liao S.: *Solar potential in urban residential buildings*, Solar Energy. 111 (2015) 225–235. doi:10.1016/j.solener.2014.10.045.
- [34] Benli H.: *Potential application of solar water heaters for hot water production in Turkey*, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 54 (2016) 99–109. doi:10.1016/j.rser.2015.09.061.
- [35] Hong T., Lee M., Koo C., Jeong K., Kim J.: *Development of a method for estimating the rooftop solar photovoltaic (PV) potential by analyzing the available rooftop area using Hillshade analysis*, Applied Energy. In press (2016). doi:10.1016/j.apenergy.2016.07.001.
- [36] Csoknyai T., Hrabovszky-Horváth S., Georgiev Z., Jovanovic-Popovic M., Stankovic B., Villatoro O., Szendrő G.: *Building stock characteristics and energy performance of residential buildings in Eastern-European countries*, Energy and Buildings. 132 (2016) 39–52. doi:10.1016/j.enbuild.2016.06.062.
- [37] Csoknyai T., Hrabovszky-Horváth S., Seprődi-Egeresi M., Szendrő G.: *National Typology of Residential Buildings in Hungary*, Budapest, 2014. http://episclope.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/HU_TABULA_TypologyBrochure_BME.pdf.
- [38] Hrabovszky-Horváth S., Pálvölgyi T., Csoknyai T., Talamon A.: *Generalized residential building typology for urban climate change mitigation and adaptation strategies: The case of Hungary*, Energy and Buildings. 62 (2013) 475–485. doi:10.1016/j.enbuild.2013.03.011.
- [39] Csoknyai T., Farkas J., Formanek L., Horváth M.: *Épülettípológia tanulmány*,

KEOP-7.9.0/12-2013-0019 projekt (Lakossági épület energiahatékonysági potenciál felmérése), Budapest, 2015.

- [40] *Nemzeti Épületenergetikai Stratégia*, Budapest, 2015. [http://www.kormany.hu/download/d/85/40000/Nemzeti E?pu?letenergetikai Strate?gia 150225.pdf](http://www.kormany.hu/download/d/85/40000/Nemzeti_E?pu?letenergetikai%20Strate?gia%20150225.pdf).
- [41] Kassai-Szoó D.: Debrecen Város tetőfelületein hasznosítható szoláris energia becslése, Debreceni Egyetem, 2013.
- [42] Kassai-Szoó D.: Városi napenergia potenciál becslés, in: Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás III., Debrecen, 2014: o. 128–130.
- [43] Hrabovszky-Horváth S.: Az energiatudatos panel-rehabilitáció klímastratégiai aspektusai, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2015. <https://repositorium.omikk.bme.hu/handle/10890/1477>.
- [44] *EN ISO 13790:2008 szabvány*, Európai Unió, 2008.
- [45] *7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról*, Magyarország, 2006. http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0600007.TNM.
- [46] *EN 15316-3-1:2007 szabvány*, Európai Unió, 2007.
- [47] *EN 15316-3-2:2007 szabvány*, Európai Unió, 2007.
- [48] *EN 15316-3-3:2007 szabvány*, Európai Unió, 2007.
- [49] Bøhm B.: *Production and distribution of domestic hot water in selected Danish apartment buildings and institutions. Analysis of consumption, energy efficiency and the significance for energy design requirements of buildings*, Energy Conversion and Management. 67 (2013) 152–159. doi:10.1016/j.enconman.2012.11.002.
- [50] Jordan U., Vajen K.: *Influence Of The DHW Load Profile On The Fractional Energy Savings:: A Case Study Of A Solar Combi-System With TRNSYS Simulations*, Solar Energy. 69 (2001) 197–208. doi:10.1016/S0038-092X(00)00154-7.
- [51] Xi C., Lin L., Hongxing Y.: *Long term operation of a solar assisted ground coupled heat pump system for space heating and domestic hot water*, Energy and Buildings. 43 (2011) 1835–1844. doi:10.1016/j.enbuild.2011.03.033.
- [52] Evarts J.C., Swan L.G.: *Domestic hot water consumption estimates for solar thermal system sizing*, Energy and Buildings. 58 (2013) 58–65. doi:10.1016/j.enbuild.2012.11.020.
- [53] Koiv T.-A., Kovshikov A.: *Changes in the heating load of domestic hot water and its impact on the design of the district heating network*, WSEAS

Transactions on Environment and Development. 11 (2015) 108–115.
<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84937430171&partnerID=40&md5=a018c50bb970066a58809e1723a8d94d>.

- [54] Kaiser A., Petri P., Jarek K.: *Monthly domestic hot water profiles for energy calculation in Finnish apartment buildings*, Energy and Buildings. 97 (2015) 77–85. doi:10.1016/j.enbuild.2015.03.051.
- [55] Lutz J.D., Lekov A., Qin Y., Melody M.: *Hot Water Draw Patterns in Single-Family Houses: Findings from Field Studies*, (2011) 28.
- [56] Gerin O., Bleys B., De Cuyper K.: *Seasonal variation of hot and cold water consumption in apartment buildings*, CIBW06 Symposium. (2014) 1–9.
- [57] Becker B.R., Stogsdill K.E.: *Development of a Hot Water Use Data Base*, ASHRAE Transactions. 96 (1990) 422–427.